

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh přípravku pro měření SC bodů automobilové svítilny

Design of Preparation for Measurement of SC Points  
of Automobile Lamps

Student:	Jan Kostelný
Vedoucí bakalářské práce:	Dr. Ing. Anna Plchová

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Kostelný**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení  
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení  
Téma: **Návrh přípravku pro měření SC bodů automobilové svítilny**  
**Design of Preparation for Measurement of SC Points of Automobile Lamps**  
Jazyk vypracování: čeština  
Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rešerši v oblasti dosavadních řešení navrhovaného přípravku.
2. Navrhňte variantní řešení a zdůvodněte výběr řešené varianty v souladu s cíli práce.
3. Pro vytvoření 3D modelu vašeho řešení zvolte CAD/CAM systém používaný na Fakultě strojní.
4. Ze 3D modelu vytvořte sestavný výkres vámi navrhovaného zařízení.
5. Nakreslete jeden dílenský výkres ze sestavy (zadání bude upřesněno v průběhu řešení).
6. Proved'te nezbytné výpočty, rovněž s využitím speciálních SW.
7. Bakalářská práce bude vyhotovena v souladu s požadavky a předpisy Fakulty strojní.
8. Rozsah práce: min. 35 stran textu mimo přílohy, výkresová část formát A0, dílenský výkres.
9. V průběhu řešení práce spolupracujte s firmou Varroc Lighting Systems, s.r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] FS\_SME\_05\_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*
- [2] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.* Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [3] NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů.* 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.
- [4] BOHÁČEK, F. *Části a mechanismy strojů I a II.* Brno: VUT Brno, 1987.
- [5] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [6] DEJL Z. *Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů.* Ostrava: Montanex, 2000. 225s. ISBN 80-7225-018-3.
- [7] Firemní podklady firmy Varroc Lighting Systems, s.r.o.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Dr.Ing. Anna Plchová**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry

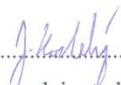


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....5.5.2017.....

..........  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 5.5.2017

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jan Kostelný

Adresa trvalého pobytu autora práce: Jarcová 253, Valašské Meziříčí 757 01

# ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KOSTELNÝ, J. *Návrh přípravku pro měření SC bodů automobilové svítilny: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2017, 48 s. Vedoucí práce: Plchová, A.

Bakalářská práce se zabývá úpravou konstrukce stávajícího přípravku na měření SC bodů automobilové svítilny. V úvodu práce je obsaženo stručné uvedení do tématu a také popis hlavních částí přípravku. Dále jsou v práci popsány požadavky na přípravek. Na základě těchto požadavků jsou provedeny úpravy v konstrukci. Každá změna v konstrukci je zkontrolována pomocí MKP analýzy. Technická dokumentace konstrukce přípravku a jeho upravených částí je obsažena v příloze.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KOSTELNÝ, J. *Design of Preparation for Measurement of SC Points of Automobile Lamps: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2017, 48 p. Thesis head: Plchová, A.

This bachelor thesis deals with the adjustment of existing SC points measuring fixture for automotive rear lamps. The introduction describes the topic and the main parts of measuring fixture. In the next part is description of requirements of measuring fixture. Based on these requirements there are made adjustments in design. Every modification in design is tested with FEM analysis. Technical documentation of design of measuring fixture and its adjusted parts is included in the annex.

# Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	9
1 Úvod.....	11
1.1 Popis hlavních částí přípravku.....	12
1.2 Rozměry přípravku .....	13
2 Rešerše .....	14
2.1 Rozdělení typů přípravků automobilových lamp.....	14
2.2 Typy a použití přípravků.....	15
3 Specifikace SC přípravku.....	18
3.1 Materiál.....	18
3.2 Požadavky na přípravek.....	19
3.3 Postup při měření .....	20
4 Analýza problému .....	22
4.1 Deformace.....	22
5 Postup při řešení problému .....	26
5.1 První změny v konstrukci přípravku.....	26
5.2 Deformační analýza .....	28
5.3 Další průběžné změny v konstrukci přípravku .....	34
6 Konečný návrh přípravku.....	35
6.1 Změny v konstrukci přípravku.....	35
6.2 Deformační analýza .....	40
6.3 Změna v hmotnosti .....	41

7 Porovnání řešení.....	42
8 Závěr .....	43
Seznam použité literatury a softwarů .....	44
Seznam obrázků a tabulek.....	45
Seznam příloh.....	47



## Seznam použitých značek a symbolů

$A$	Reakce A	[N]
$a$	Vzdálenost $a$	[mm]
$B$	Reakce B	[N]
$b$	Vzdálenost $b$	[mm]
$C$	Reakce C	[N]
$c$	Vzdálenost $c$	[mm]
$E_1$	Modul pružnosti slitiny hliníku	[MPa]
$E_2$	Modul pružnosti oceli	[MPa]
$F_G$	Tíhová síla	[N]
$F_U$	Utahovací síla	[N]
$m$	Hmotnost přípravku	[kg]
$m_{MAX}$	Maximální hmotnost přípravku	[kg]
$M_U$	Utahovací moment	[N·m]
SC	Significant characteristic	[-]
$t_o$	Teplota prostředí	[°C]
$\delta_{MAX}$	Maximální deformace přípravku	[mm]
$\delta'_{MAX}$	Lokální maximální deformace	[mm]
$\rho_1$	Hustota slitiny hliníku	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$\rho_2$	Hustota oceli	[kg·m <sup>-3</sup> ]

$\phi$

Relativní vlhkost

[%]

# 1 Úvod

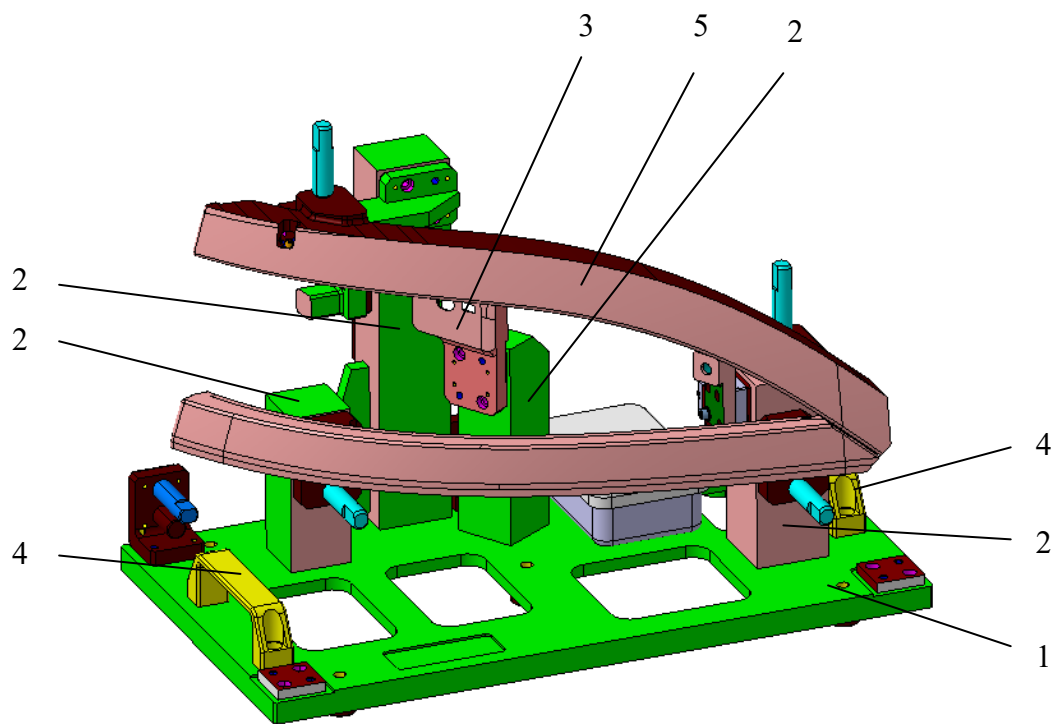
Automobilový průmysl je velmi rozšířené strojírenské průmyslové odvětví zabývající se vývojem, výrobou, marketingem a prodejem motorových vozidel. V současnosti je v tomto průmyslu zaměstnáno minimálně 8,5 mil. lidí na celém světě, avšak na výrobu dopravních prostředků jsou navázána další odvětví průmyslu, která jsou na něm závislá.

Automobilky nemají vlastní vývojová a výrobní centra na všechny součásti, proto si některé součásti nechávají vyrobit u jiných firem. Tato práce je zaměřená na oblast světelné techniky automobilu.

Cílem této práce je vyřešit problém se stávajícím přípravkem na měření přesnosti SC (significant characteristic) bodů, což jsou body, které určují polohu světlometu (přední lampa) nebo svítilny (zadní lampa) v karosérii automobilu. Tato práce se zabývá přípravkem na svítilnu z firmy Varroc Lighting Systems, s.r.o. (dále jen „Varroc“) v Novém Jičíně. Problém se stávajícím přípravkem je v tom, že po celkovém dotažení všech jeho částí určitým utahovacím momentem se příliš zdeformuje, čímž znehodnocuje samotné měření. Musí se tedy upravit konstrukce přípravku při zachování stejné polohy pro uchycení svítilny. Přípravek je jednoúčelový na konkrétní svítilnu.

## 1.1 Popis hlavních částí přípravku

Na Obr. 1.1 je zobrazen stávající přípravek v 3D datech, který je třeba upravit. Znázorněné pozice představují důležité konstrukční a manipulační prvky.

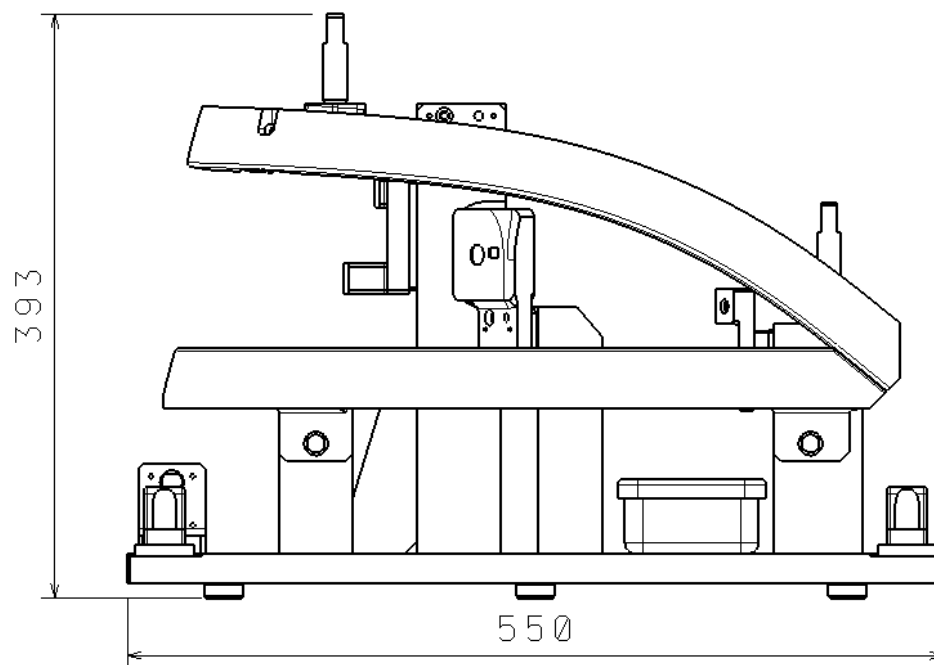


Obr. 1.1- Přípravek na měření SC bodů v 3D softwaru Catia [1]

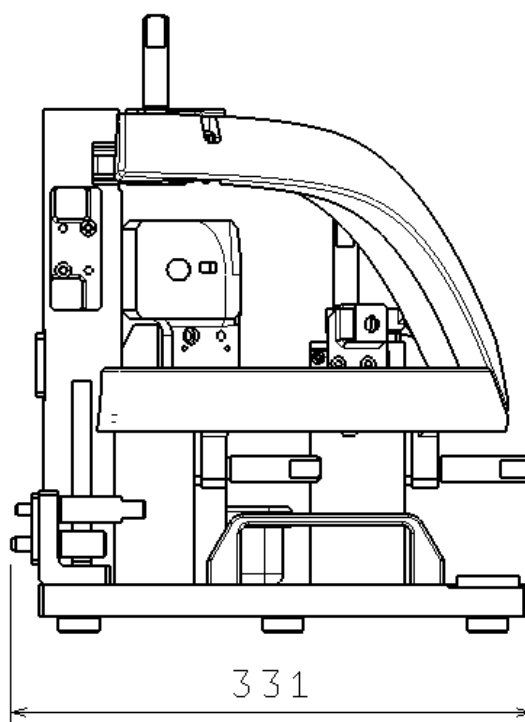
- 1 ... Základová deska
- 2 ... Nosné sloupky
- 3 ... Uchycovací část pro svítilnu
- 4 ... Madla pro uchopení
- 5 ... Část simulující karosérii automobilu

## 1.2 Rozměry přípravku

Pomocí softwaru Catia [1] jsem změřil základní rozměry přípravku pro lepší představu o jeho velikosti. Podrobný výkres viz příloha A



Obr. 1.2 - Pohled zepředu

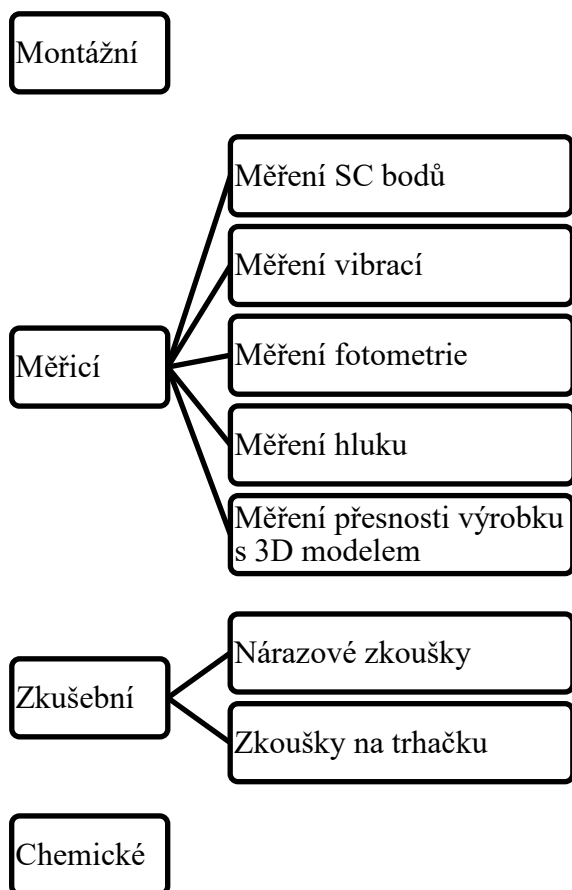


Obr. 1.3 - Pohled zleva

## 2 Rešerše

Ve strojírenství existuje mnoho druhů přípravků. Jsou to např. přípravky montážní, upínací, svařovací, vrtací, manipulační, měřicí, soustružnický atp. Tato práce je zaměřena na automobilovou světelnou techniku, takže zde uvedu přípravky, které se v ní používají. U automobilových lamp je potřeba provádět spoustu druhů měření, k čemuž slouží přípravky. Je však spousta možností, jak přípravky využít. Používají se např. na montáže, různé pevnostní zkoušky nebo i pro chemické zkoušky. V automobilovém průmyslu bývají přípravky většinou jednoúčelové.

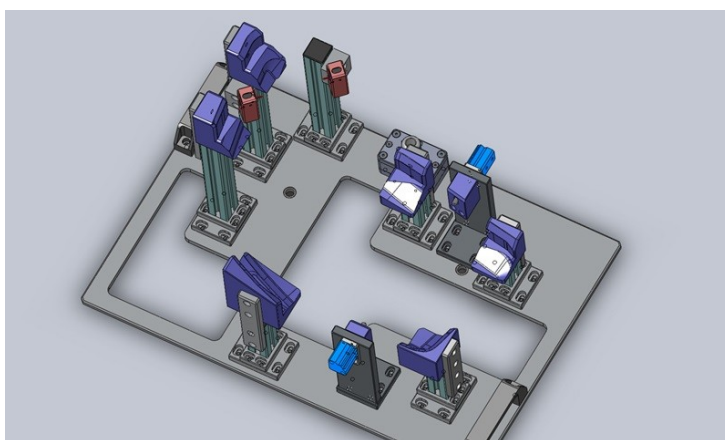
### 2.1 Rozdělení typů přípravků automobilových lamp



## 2.2 Typy a použití přípravků

### 2.2.1 Montážní

Montážní přípravky jsou nejrozšířenější přípravky nejen v automobilovém průmyslu. Jsou to jednoúčelové pomůcky, které slouží k usnadňování sestavování a montáži výrobků. Tyto přípravky se často skládají z různých držáků a stojanů, do kterých se výrobek upne v přesně definované poloze pro snadnější sešroubování či jiné smontování. Někdy montážní přípravky umožňují otáčení montovaného celku tak, aby byl snadno přístupný ze více stran.



Obr. 2.1 - Montážní přípravek na světlomet

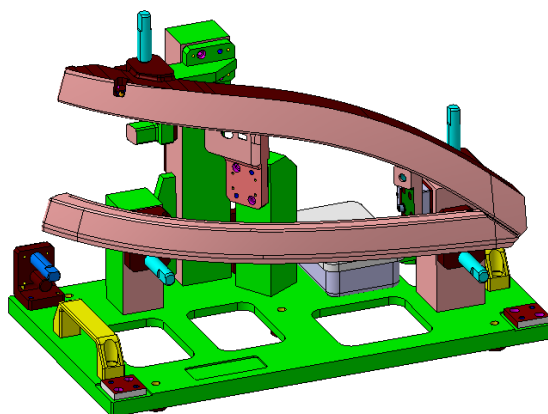
<http://www.konstrukce-foff.cz/galerie/montazni-pripravky.htm>

### 2.2.2 Měřicí

Měřicími přípravky můžeme měřit spoustu rozměrových či jiných veličin a je možno je rozdělit do více skupin nebo druhů.

#### Měření SC bodů

Přípravky určené na měření přesnosti SC bodů (dále jen „SC přípravek”), které určují polohu automobilových lamp. SC přípravky měří přesnost jejich polohy v porovnání s 3D daty. SC přípravky musí být velmi tuhé, aby se po upnutí příliš nezdeformovaly. Přílišná deformace může mít za následek znehodnocení výsledků měření.



Obr. 2.2 - SC přípravek

### Měření vibrací

Na vibračních přípravcích je možno měřit velikost vibrací lampy při simulovaném provozu. Přípravek bývá pevně uchycen na vibračním stole, který vibruje podle nastavených parametrů. Tyto přípravky musí být také velmi tuhé, aby při vibračních zkouškách nezneškodnocovaly měření vibracemi vlastních dílů přípravku.

### Měření fotometrie

Přípravky, které slouží k uchycení lampy při měření fotometrických veličin, jako je svítivost, světelný tok nebo intenzita osvětlení.



Obr. 2.3 - Fotometrický přípravek

<http://www.unimatic.cz/index.php/ukazky>



## **Měření hluku**

Pro měření hluku se používá přípravek, do něhož se lampa uchytí při simulovaném provozu nebo např. hluku, který vydávají součástky v lampě při změně polohy atp.

## **Měření přesnosti výrobku s 3D modelem**

Přípravek, v němž je uchycena lampa, je určen pro měření přesnosti skutečného výrobku ve srovnání s 3D CAD modelem.

### **2.2.3 Zkušební**

Zkušebními přípravky se provádí různé zkoušky na mechanické vlastnosti. Využívají se pro mnoho pevnostních zkoušek. Například se jedná o nárazové zkoušky, zkoušky na trhačku a další nutné zkoušky.

#### **Nárazové zkoušky**

Na obrázku Obr. 2.4 je znázorněn přípravek určený pro lampy, které se zkouší při různých nárazových testech (crash testy). Tyto zkoušky jsou pro lampu destruktivní, takže přípravek musí být navržen tak, aby při zkouškách neutrpěl žádné poškození a mohl být tak dále používán při dalších zkouškách.



Obr. 2.4 - Přípravek pro nárazové zkoušky

<http://www.unimatic.cz/index.php/ukazky>

## Zkoušky na trhačku

Při zkouškách na trhačku se testuje tuhost úchytů lampy v karosérii. Tyto úchyty jsou připevněny do přípravku. Úchyty musí být navrženy tak, aby se při nehodě automobilu snadno ulomily. Díky tomu je šance, že se lampa tolik nepoškodí a bude stačit vyměnit pouze úchyty.

### 2.2.4 Chemické

Tyto přípravky se používají pro měření chemických vlastností a změn v lampě. Při montáži lampy může docházet ke změnám v chemické struktuře materiálu. (Např. při přítomnosti nečistot během svařování.)

## 3 Specifikace SC přípravku

### 3.1 Materiál

Přípravek je vyroben ze slitiny hliníku. Spojovací části (šrouby, čepy, matice, distanční destičky) jsou ocelové. Součástí přípravku je také plastová krabička pro uložení menšího množství nářadí (šroubováky apod.).

Tab. 1 - Vlastnosti materiálů

<b>Vlastnosti materiálů [2]</b>		
	<b>Slitina hliníku</b>	<b>Ocel</b>
<b>Modul pružnosti</b>	$E_1 = 7\,0000\text{ MPa}$	$E_2 = 21\,0000\text{ MPa}$
<b>Hustota</b>	$\rho_1 = 2\,700\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\rho_2 = 7\,850\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

## 3.2 Požadavky na přípravek

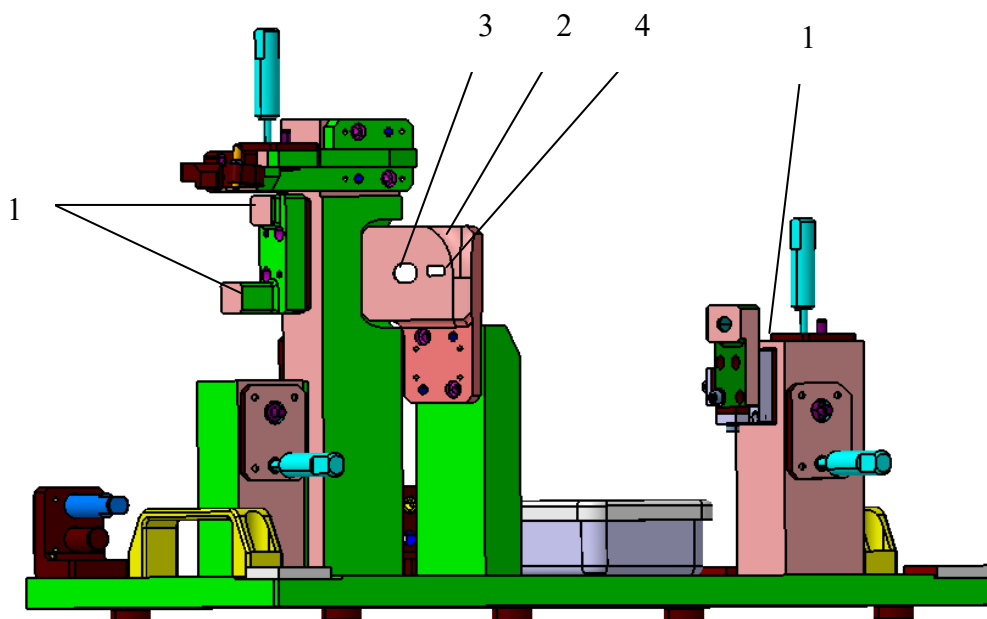
Aby byla zajištěna správná funkčnost SC přípravku, musí být splněno několik podmínek (Tab. 2).

Tab. 2 - Požadavkový list

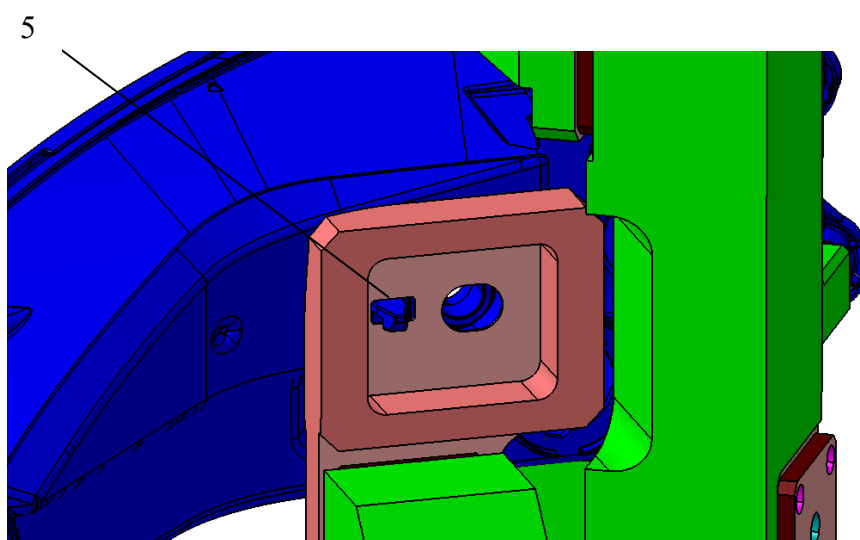
<b>Požadavkový list</b>			
<b>Typ požadavku</b>	<b>Popis požadavku</b>	<b>Podmínka</b>	
<b>Tuhost</b>	SC přípravek musí být téměř absolutně tuhý, aby nedocházelo k příliš velkým deformacím, které znehodnotí měření	Maximální deformace přípravku	$\delta_{MAX} = 0,1 \text{ mm}$
	Svítilna se do SC přípravku upne pomocí šroubu dotaženého utahovacím momentem	Utahovací moment upínacího šroubu	$M_U = 1,7 \text{ N}\cdot\text{m}$
<b>Hmotnost</b>	Přípravek by neměl být příliš těžký pro snadné manipulování	Maximální hmotnost přípravku	$m_{MAX} = 15 \text{ kg}$
<b>Manipulace</b>	Důležitá je možnost snadné manipulace pro každého člověka, který s přípravkem bude chtít pracovat	Úchyty dostatečné velké pro bezproblémové uchopení	
<b>Pracovní podmínky</b>	Aby nedocházelo k rozdílům mezi opakovaným měřením, musí se dodržet následující požadavky	Teplota prostředí	$t_o = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
		Relativní vlhkost	$\phi = (20 \div 70) \%$
		Směnný provoz	3 směny
		Počet hodin na směnu	8 hodin
		Počet týdnů za rok	47 týdnů
		Životnost	50000 měření za podmínek vyhovujícím opakovatelnosti

### 3.3 Postup při měření

Do měřicího přípravku se založí měřená svítilna. Svítilna je v přípravku upnuta pomocí tří lokátorů na příslušné plochy (poz. 1), speciálním pružinovým šroubem s maticí Böllhoff (Obr. 3.4), která je připevněná ve svítelně na připojovací část (poz. 2) v díře na šroub (poz. 3, Obr. 3.1). Svítilna je do přípravku zachycená také pomocí klipu (poz. 5, Obr. 3.2) do připojovací části (poz. 2, 4). Základní ustanovení svítilny musí být takové, aby umožnilo obsluhu její pohodlné upnutí a snadné provádění měření. (Poznámka - na Obr. 3.1 není svítilna patrná z důvodu přehlednosti umístění jednotlivých pozic.)

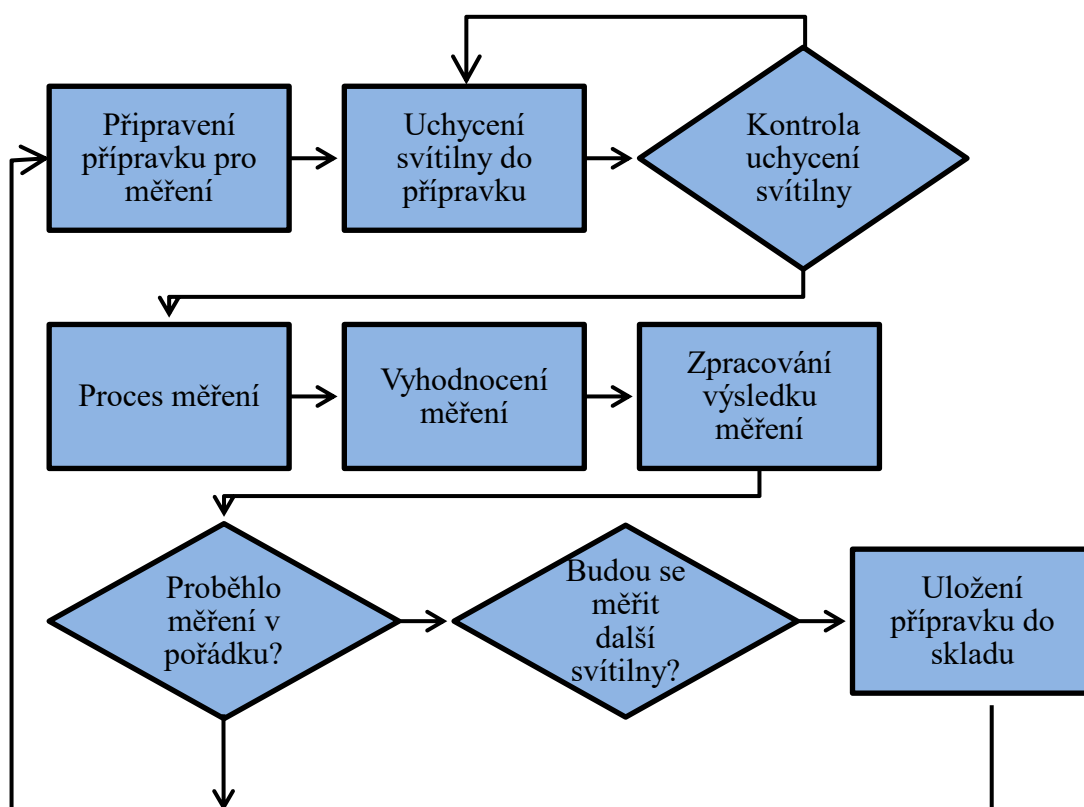


Obr. 3.1 - Pozice pro uchycení lokátorů



Obr. 3.2 - Uchycení šroubu a klipu

### Blokové schéma postupu měření



Obr. 3.3 - Blokové schéma postupu měření

V případě vyhovujícího výsledku se měření dále jednou za čas kontrolně provádí.

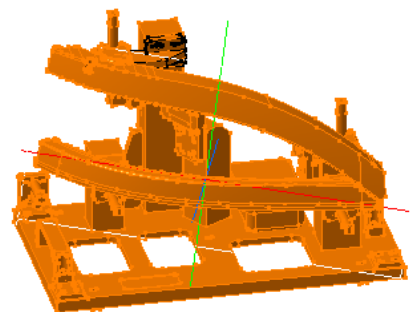
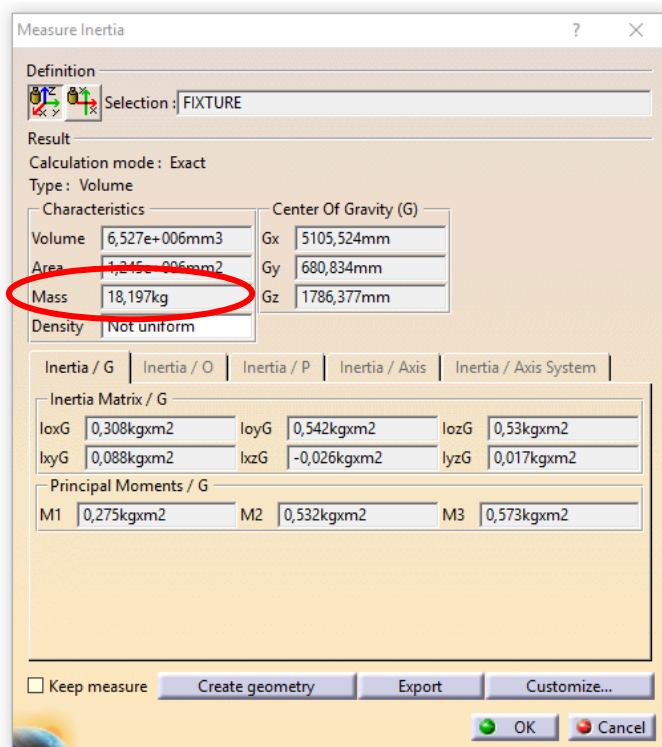
V případě nevyhovujícího výsledku se musí zjistit příčina problému. Buď se musí upravit lampa anebo je zde možnost chybně zkonstruovaného přípravku, jako je v případě přípravku, kterým se zabývá tato práce.



Obr. 3.4 - Pružinový šroub a matice Böllhoff

## 4 Analýza problému

Mým cílem je upravit konstrukci přípravku tak, aby jeho deformace po upnutí svítilny nepřesáhla hodnotu 0,1 mm. Problém je také v tom, že přípravek nyní váží 18,2 kg, což nesplňuje hmotnostní požadavek, proto bude muset být zásadně změněna konstrukce celého přípravku. Hmotnost stávajícího konstrukčního řešení přípravku byla určena pomocí software Catia [1] (Obr. 4.1).



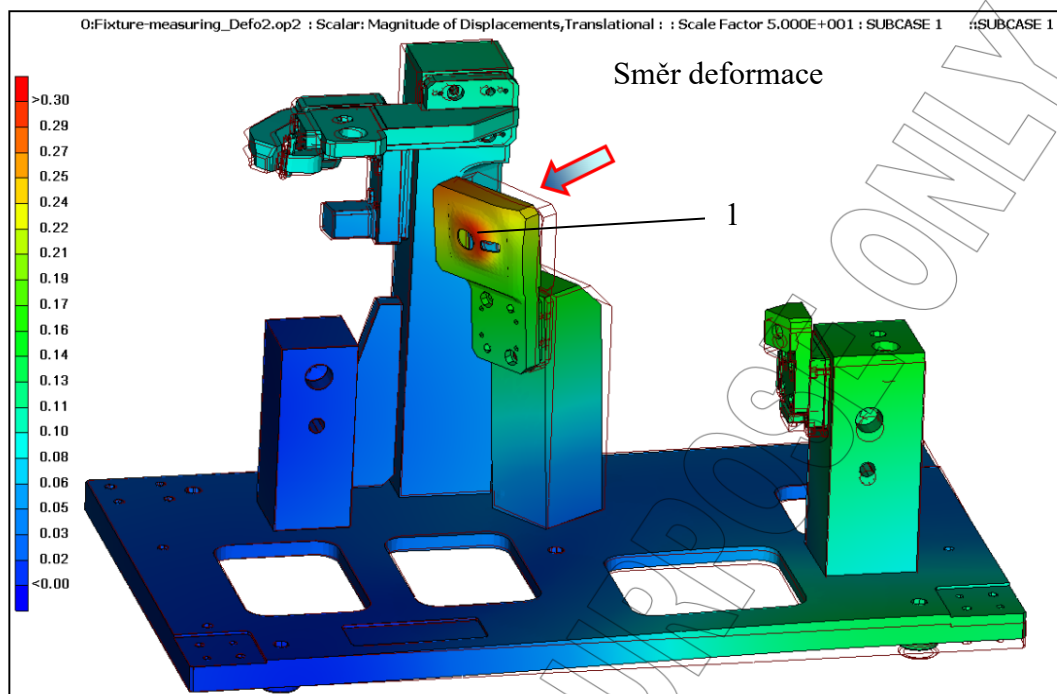
Obr. 4.1 - Určení hmotnosti původního přípravku

### 4.1 Deformace

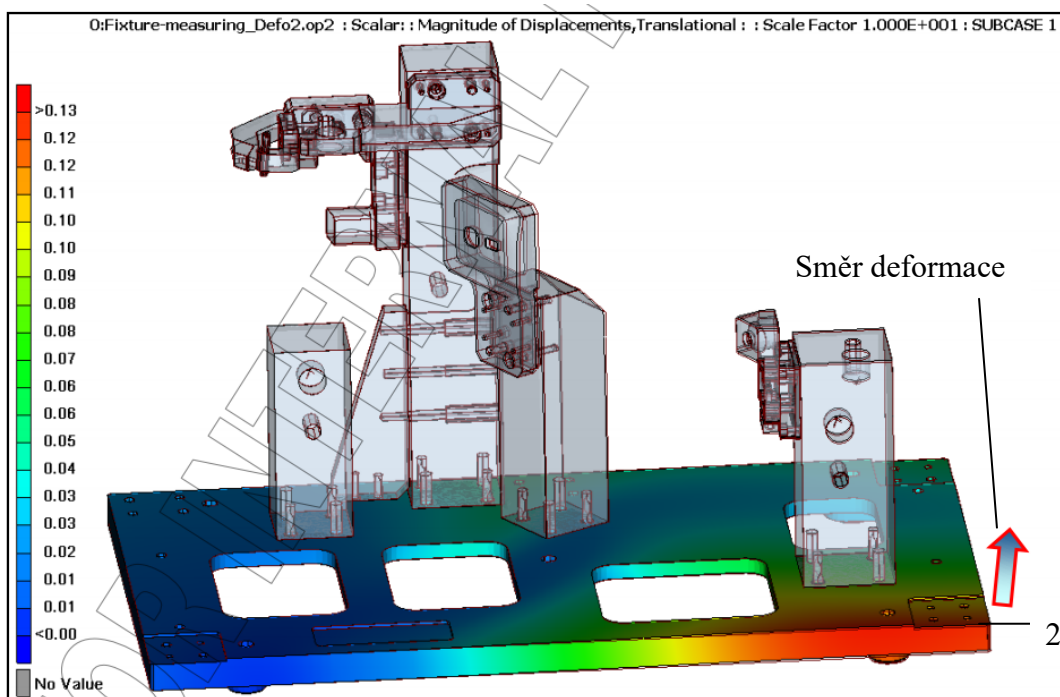
Pro zjištění velikosti deformace byla provedena analýza pomocí metody konečných prvků (dále jen "MKP"). Měl jsem možnost záležitost konzultovat a získat výsledky z analýzy, kterou provedli výpočtáři z firmy Varroc v softwaru NX Nastran [3]. Předepsaný utahovací moment pro šroub Böllhoff (Obr. 3.4) je pro upnutí svítilny do přípravku předepsán utahovací moment  $M_U = 1,7 \text{ N}\cdot\text{m}$ . Ve výpočtu byl utahovací moment nahrazen utahovací silou  $F_U = 400 \text{ N}$ . Na Obr. 4.2 je možno vidět oblast největší deformace (poz. 1). V modelu byly dále zneviditelněny kritické deformační prvky jako

například upínací prvek, sloupky s lokátory a další strojní součásti, aby bylo možno zjistit také další kritickou oblast deformace (poz. 2, Obr. 4.3)

#### 4.1.1 První verze původního přípravku



Obr. 4.2 - MKP analýza posunutí

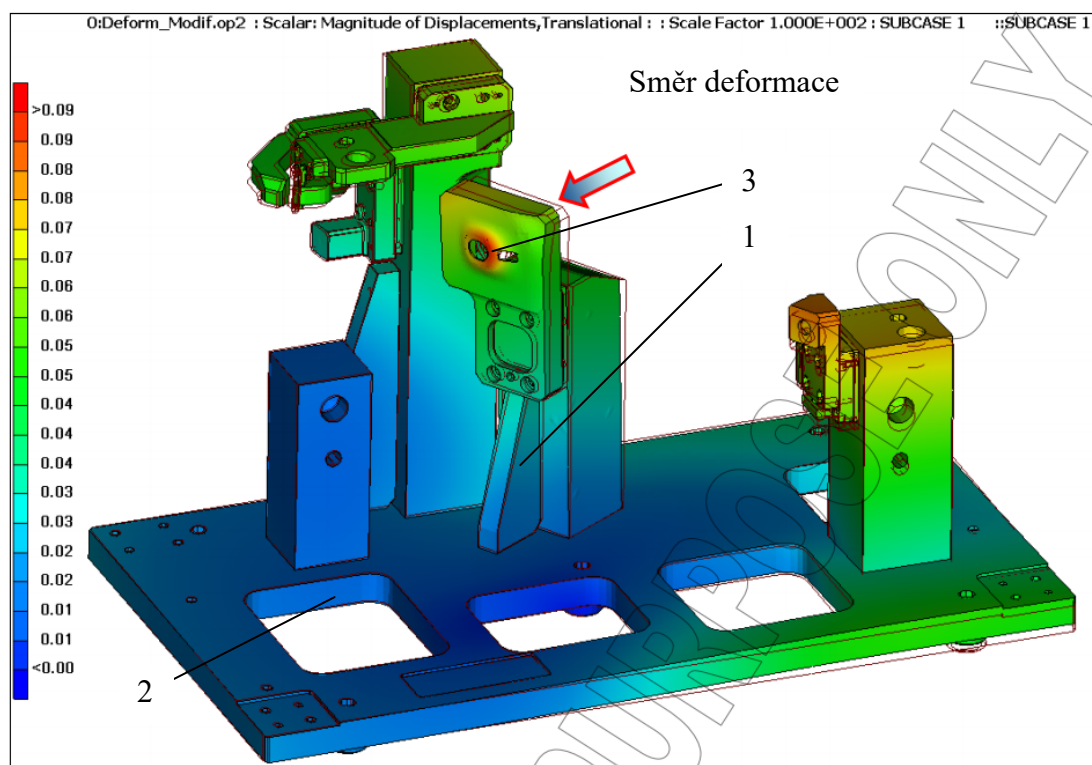


Obr. 4.3 - MKP analýza posunutí desky

Z této analýzy lze tedy poznat, že deformace jsou zde příliš velké. Na plíšku (poz. 1), přes který se montuje svítidla pomocí Böllhoff matice je deformace až  $\delta_{MAX} = 0,3 \text{ mm}$  (Obr. 4.2). Příliš se prohýbá také základová deska, kde deformace dosahuje až  $\delta'_{MAX} = 0,13 \text{ mm}$  (Obr. 4.3).

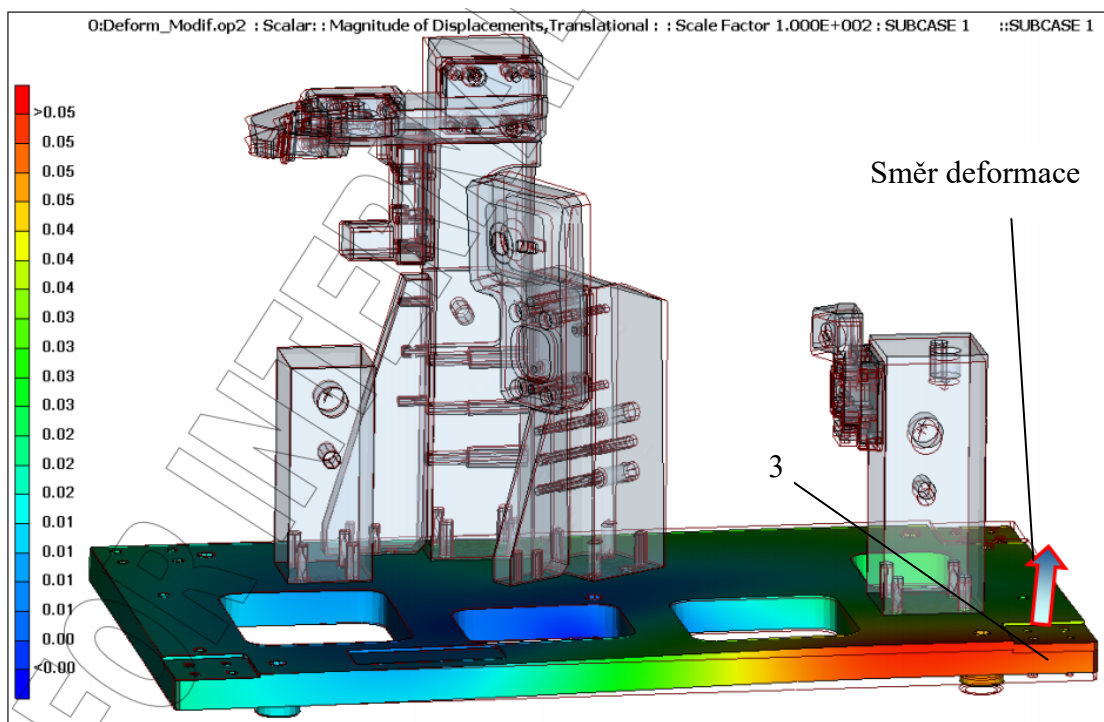
#### 4.1.2 Druhá verze původního přípravku

Tato úprava byla provedena konstruktéry ve Varrocu. Aby byl splněn požadavek maximální deformace, byla provedena změna v konstrukci přidáním podpory (poz. 1, Obr. 4.4) pro sloupek, který drží spojovací plíšek pro Böllhoff matici a pružinový šroub. Dále byla také vyztužena základová deska. (poz. 2). Na Obr. 4.4 lze vidět oblast největší deformace (poz. 3). V modelu byly částečně skryty kritické deformační prvky, aby byla zjištěna i další kritická oblast deformace (poz. 3, Obr. 4.5).



Obr. 4.4 - MKP analýza posunutí po úpravě





Obr. 4.5 - MKP analýza posunutí desky po úpravě

Tato úprava velmi snížila deformaci, která už je nyní přijatelná, co se deformace týče. Je možno vidět, že maximální deformace  $\delta_{MAX} = 0,9 \text{ mm}$  (Obr. 4.4). Po zneviditelnění hlavního kritického deformačního prvku (poz. 3, Obr. 4.4) můžeme vidět na základové desce deformaci  $\delta'_{MAX} = 0,05 \text{ mm}$  (Obr. 4.5). Nevyřešil se však problém s hmotností. Hmotnost přípravku se přidáním podpory a masivním vyztužením základové desky ještě zvýšila na 21 kg. Přípravek je však nyní alespoň použitelný pro měření.

## 5 Postup při řešení problému

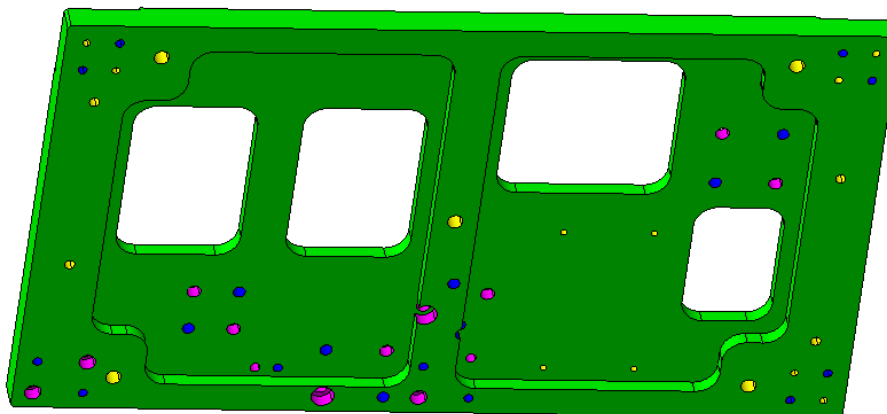
Nyní už popisuji mnou provedené změny v konstrukci a nastavení simulace pro kontrolu deformace přípravku.

### 5.1 První změny v konstrukci přípravku

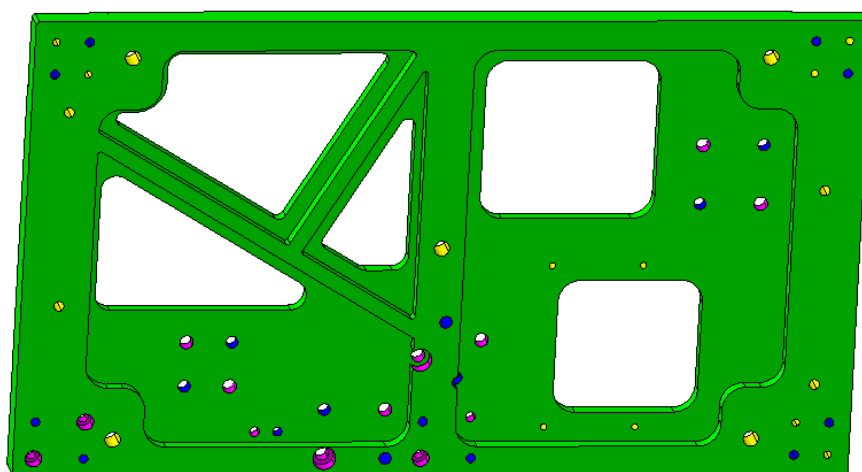
Kvůli nutnosti zachovat přesnou polohu lokátorů a upínacího prvku a kvůli velkému množství děr pro šrouby a kolíky, jsem byl omezen ve velkých úpravách v konstrukci. Z tohoto důvodu jsem se zaměřil hlavně na úpravu základové desky, úpravou sloupků přípravku a přidáváním žeber pro vyztužení.

#### 5.1.1 Základová deska

U základové desky jsem se pokusil zvýšit tuhost v rámci celého přípravku, ale zároveň nezvýšit hmotnost. Na Obr. 5.1 je znázorněna původní deska a na Obr. 5.2 mnou upravená deska. Pohled na obě desky je zespodu.



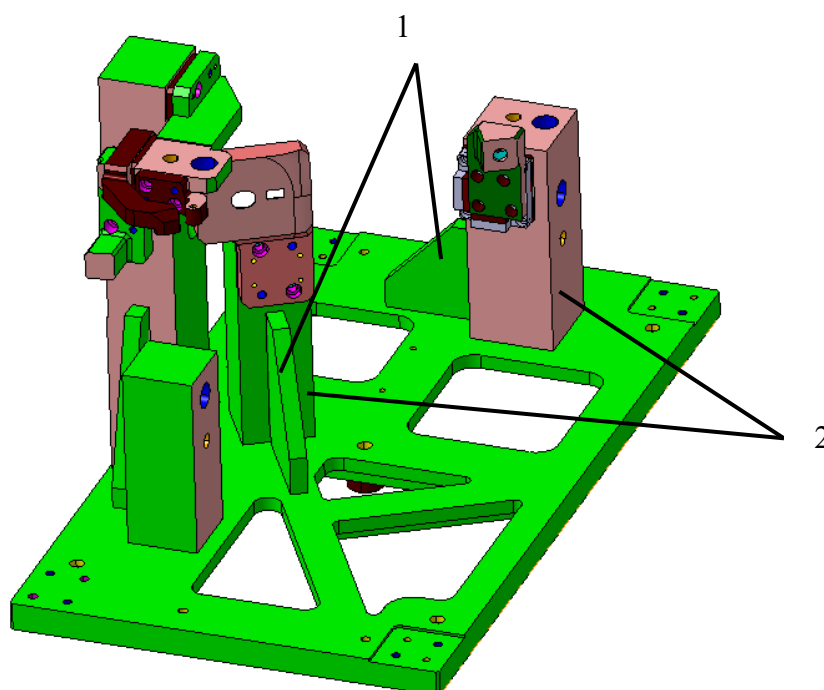
Obr. 5.1 - Původní základová deska



Obr. 5.2 - Upravená základová deska

### 5.1.2 Žebra

Pro zvýšení tuhosti jsem přidal dvě nová žebra (poz. 1), které podpírají hlavní sloupky (poz. 2). Na Obr. 5.3 jsou znázorněny jejich pozice.



Obr. 5.3 - Pozice nových žeber

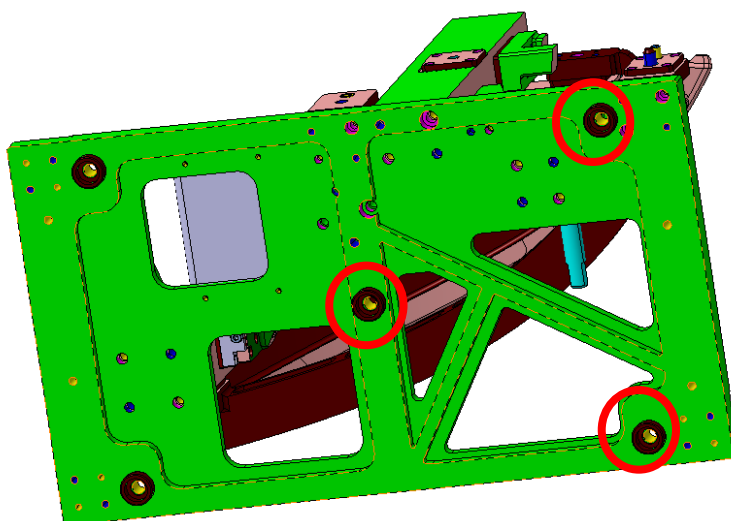
Těmito úpravami byla hmotnost snížena na 18 kg, což zatím bohužel nestačí

## 5.2 Deformační analýza

Abych mohl řešit problém deformace, musel jsem vytvořit vlastní simulaci, podle které byly průběžně kontrolovány úpravy modelu přípravku. Úpravy modelu byly prováděny v softwaru Catia [1] a simulace v softwaru Autodesk Inventor [4] kvůli lepším znalostem v provádění simulací. Způsob, jakým jsem zadával okrajové podmínky, jsem konzultoval s výpočtáři z firmy Varroc.

### 5.2.1 Vazby

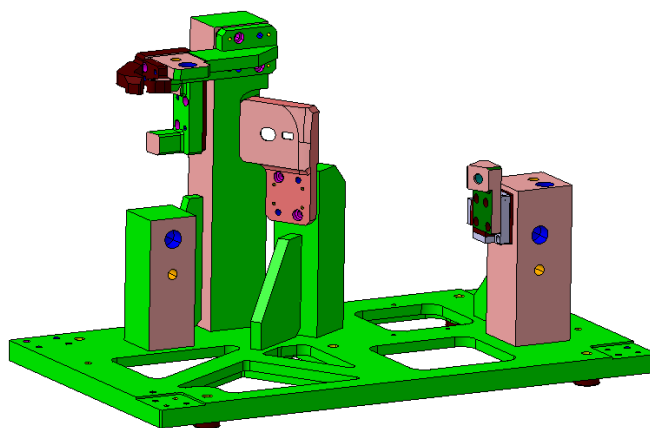
Po poradě s výpočtáři z firmy Varroc jsem určil 3 z 5 stojniček jako pevné vazby. Pevné vazby byly umístěny na spodní plochy stojniček. Umístění vazeb je znázorněno zakroužkováním zavazbených stojniček na Obr. 5.4.



Obr. 5.4 - Umístění pevných vazeb

### 5.2.2 Zjednodušení modelu

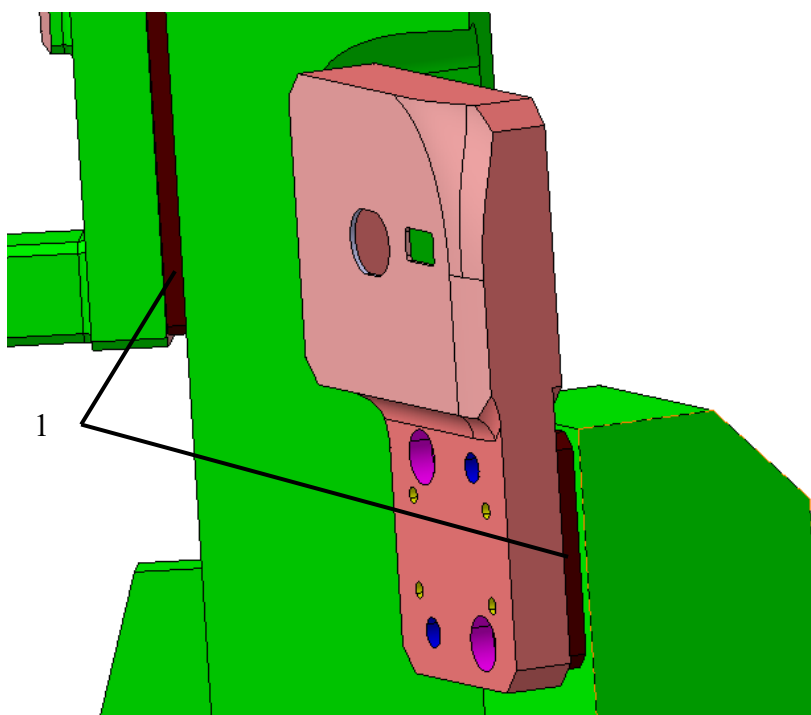
Pro účely simulace byly z modelu vyloučeny komponenty, které nemají na výsledek velký vliv, avšak zbytečně by zatěžovaly výpočet. Z modelu byly vyloučeny především spojovací části jako šrouby apod. Vyloučena byla také část simulující karosérii okolo svítilny. Zjednodušený model je znázorněn na Obr. 5.5.



Obr. 5.5 - Zjednodušený model pro simulaci

### 5.2.3 Materiál

Ve zjednodušeném modelu (Obr. 5.5) jsou všechny hlavní části ze slitiny hliníku. Pro simulaci byl zvolen hliník 6061. Z oceli jsou pouze distanční destičky (poz. 1) umístěné mezi hlavními částmi přípravku. (Obr. 5.6)



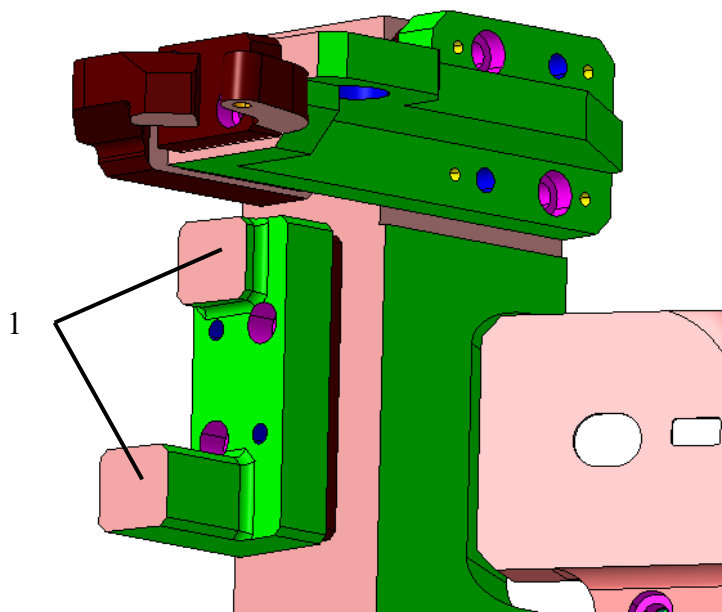
Obr. 5.6 - Příklad umístění distančních destiček

### 5.2.4 Dotyky

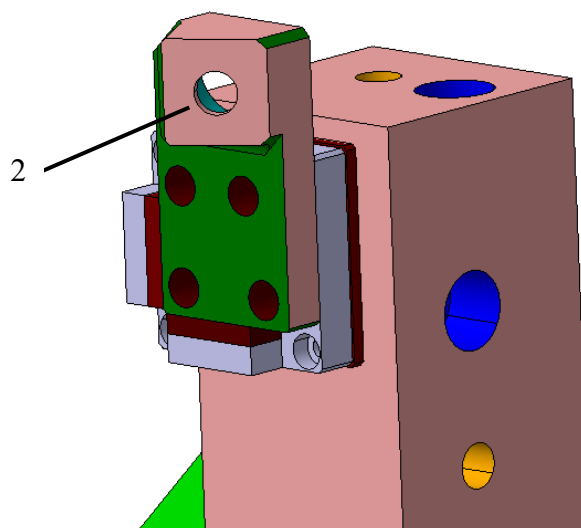
Za předpokladu tuhého přípravku a použití velkého množství šroubů a čepů jsem nechal dotyky pouze vygenerovat automaticky jako dotyky vázané.

### 5.2.5 Zatížení

Utahovací moment šroubu a matice Böllhoff (Obr. 3.3)  $M_U = 1,7 \text{ N} \cdot \text{m}$  nahrazují utahovací silou  $F_U = 400 \text{ N}$ . Do simulace nezahrnuji svítilnu, proto musím spočítat reakce, které působí na lokátory svítilny a přípravku (poz. 1, Obr. 5.7 a poz. 2, Obr. 5.8). Uvažuji také tíhovou sílu přípravku  $F_G$ .



Obr. 5.7 - Pozice levých lokátorů



Obr. 5.8 - Pozice pravého lokátoru

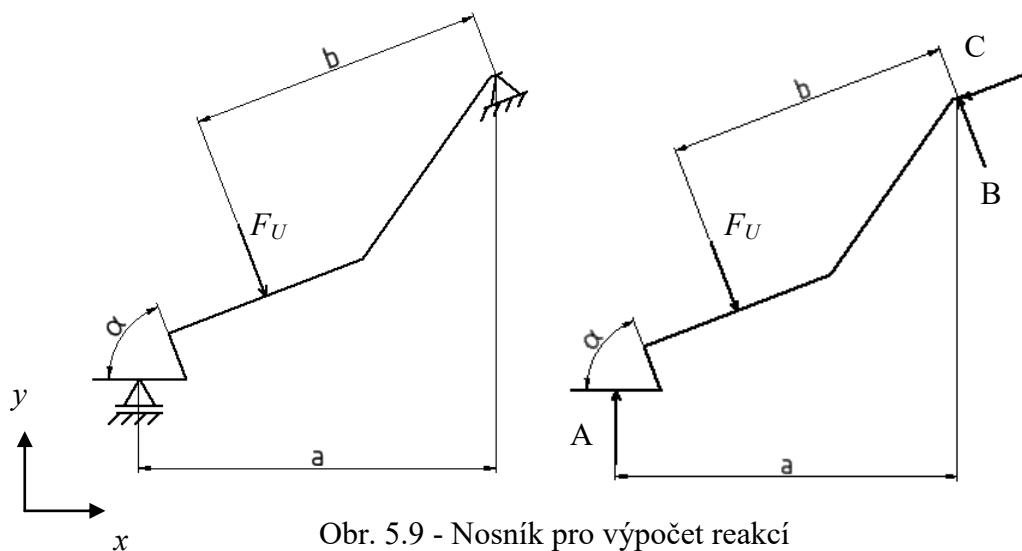
Ze simulace jsem vyloučil samotnou svítidlu, proto musím vypočítat reakce působící na lokátory (poz. 1, Obr. 5.7 a pozice 2, Obr. 5.8) na základě utahovací síly  $F_U$ . Pro výpočet reakcí si svítidlu nahradím zjednodušeným lomeným nosníkem s podporami na lokátorech.

Pravý lokátor (poz. 2, Obr. 5.8) volím jako pevnou kloubovou vazbu z důvodu pevnějšího uchycení lokátoru v díře. Pro účely nosníku volím dva levé lokátory (poz. 1, Obr. 5.7) jako jednu podporu určenou jako posuvnou kloubovou vazbu z důvodu zachování staticky určité úlohy. Vypočítanou reakci na levých lokátorech následně rozdělím na dvě poloviny pro každý lokátor.

### Výpočet reakcí

Podpory nahradím reakcemi A, B a C (Obr. 5.9). Nosník je staticky určitý, takže reakce spočítám jednoduše z rovnic rovnováhy. Rozměry jsem změřil z modelu přípravku pomocí software Catia [1]

$$a = 230 \text{ mm} \quad b = 190 \text{ mm} \quad \alpha = 69^\circ \quad F_U = 400 \text{ N}$$



### Rovnice rovnováhy

$$\sum F_i x = 0 = F_U \cdot \cos(\alpha) - B \cdot \cos(\alpha) - C \cdot \sin(\alpha) \quad (5.1)$$

$$\sum F_i y = 0 = A - F_U \cdot \sin(\alpha) + B \cdot \sin(\alpha) - C \cdot \cos(\alpha) \quad (5.2)$$

$$\sum M_i B = 0 = -A \cdot a + F_U \cdot b \quad (5.3)$$

### Reakce A

Reakci A vypočítám ze vztahu (5.3)

$$A = F_U \cdot \frac{b}{a} = 400 \cdot \frac{190}{230} \quad (5.4)$$

$$\underline{A \cong 330 \text{ N}}$$

### Reakce C

Abych vypočítal reakci C, vyjádřím si ze vztahu (5.1) reakci B a následně dosadím do vztahu (5.2). Do tohoto vztahu dosadím také výsledek vztahu (5.4)

$$B = \frac{F \cdot \cos(\alpha) - C \cdot \sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = F - C \cdot \tan(\alpha) \quad (5.5)$$

$$A - F \cdot \sin(\alpha) + B \cdot \sin(\alpha) - C \cdot \cos(\alpha) = 0$$

$$A - F \cdot \sin(\alpha) + (F - C \cdot \tan(\alpha)) \cdot \sin(\alpha) - C \cdot \cos(\alpha) = 0$$

$$A - C \cdot \tan(\alpha) \cdot \sin(\alpha) - C \cdot \cos(\alpha) = 0$$

$$C \cdot \left( \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha) \right) = A$$

$$C \cdot \left( \frac{\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)}{\cos(\alpha)} \right) = A$$

$$C = A \cdot \cos(\alpha) = 330 \cdot \cos(69) \quad (5.6)$$



$$\underline{C \cong 118 \text{ N}}$$

### Reakce B

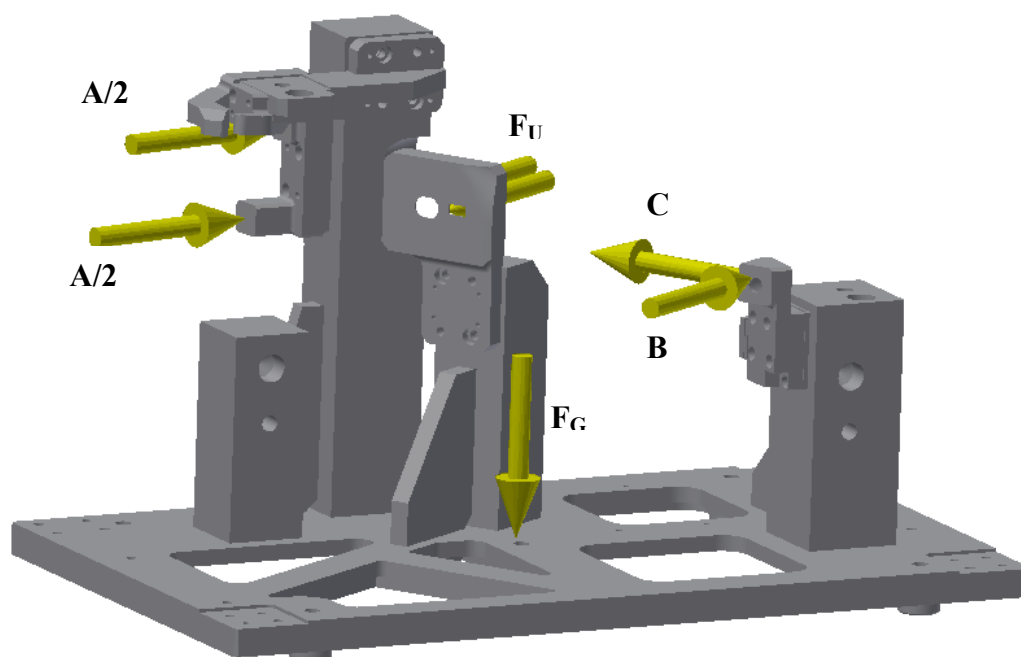
Reakci B vypočítám dosazením výsledku ze vztahu (5.6) do vztahu (5.5)

$$B = F_U - C \cdot \tan(\alpha) = 400 - 118 \cdot \tan(69)$$

$$\underline{B \cong 93 \text{ N}}$$

### Umístění zatížení

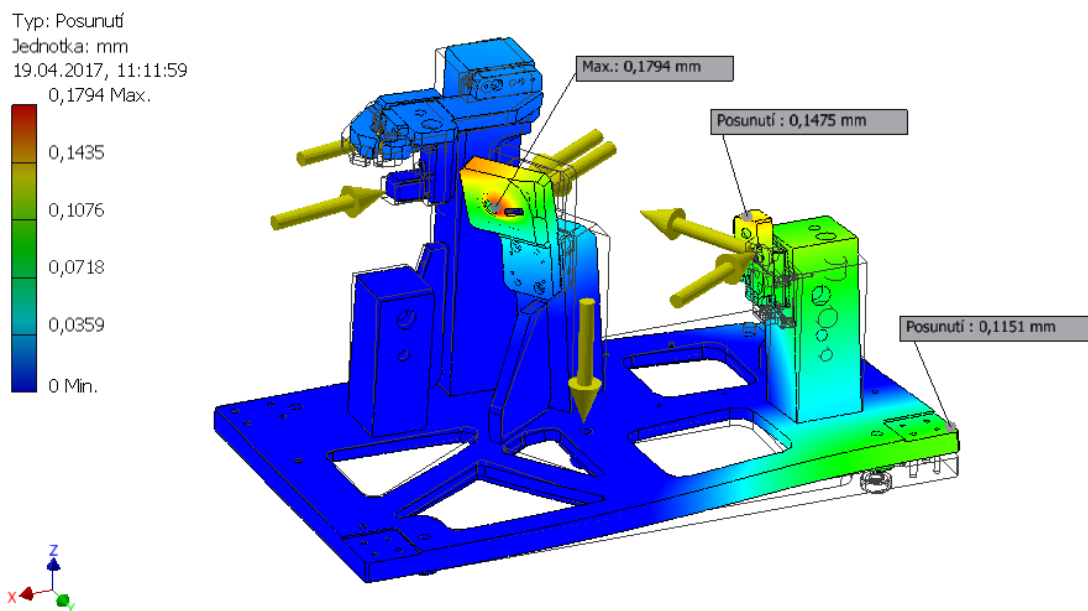
Na Obr. 5.10 je znázorněno umístění všech sil, které na přípravek působí. Síla  $F_U$  působí na uchycovací část pro svítilnu. Vypočítané reakce umístím na příslušné lokátory (Obr. 5.7 a 5.8). V simulaci počítám také s tíhovou silou umístěnou na základovou desku, protože hmotnost přípravku je dost velká na to, aby ovlivnila měření.



Obr. 5.10 - Zatížení na přípravek

### 5.2.6 Výsledná deformace prvního návrhu

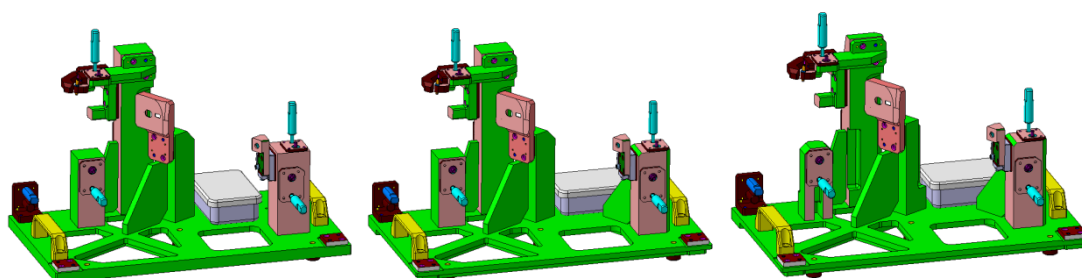
Pomocí software Autodesk Inventor [4] byla provedena deformační analýza. Na Obr. 5.11 jsou znázorněna místa s největší deformací. Všechna tři místa překračují povolenou deformaci 0,1 mm, proto musím najít lepší řešení.



Obr. 5.11 - Deformační analýza

### 5.3 Další průběžné změny v konstrukci přípravku

Pro představu průběhu hledání řešení je na Obr. 5.12 znázorněno několik variant konstrukce SC přípravku. Celkově jsem se nejvíce zaměřil na úpravu základové desky, protože je velkým nositelem hmotnosti a také se na ní velmi projevuje deformace. Poté jsem začal upravovat sloupky a žebra.



Obr. 5.12 Průběžné změny v konstrukci

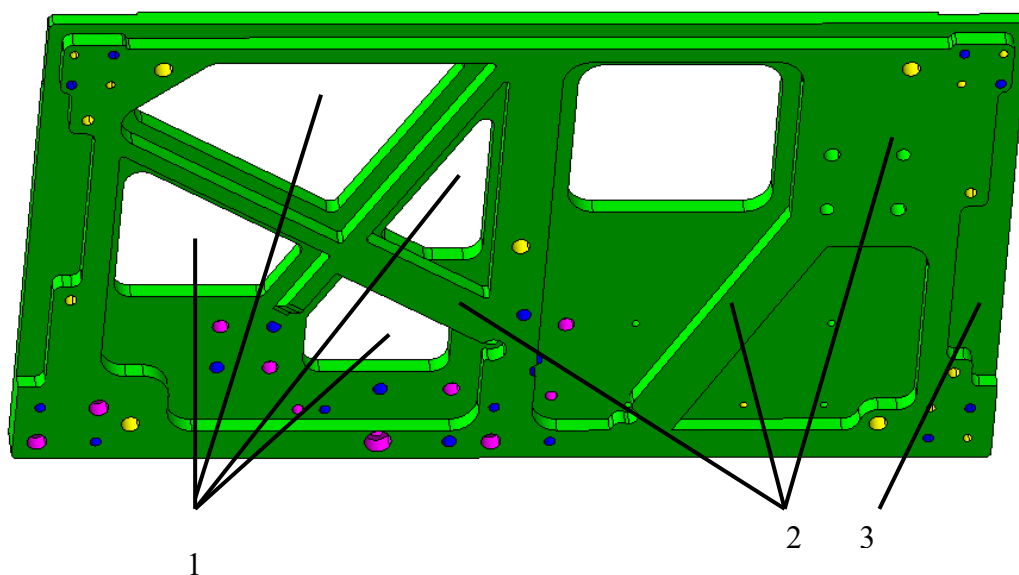
## 6 Konečný návrh přípravku

Během řešení konstrukce přípravku jsem měl problém s hledáním kombinace přijatelné deformace a přijatelnou hmotností. Po mnoha úpravách přípravku jsem však hmotnost snížil pouze částečně, přičemž jsem se zaměřil na snížení deformace, protože z hlediska fungování SC přípravku je tato podmínka nezbytná. Hmotnost SC přípravku nemá na měření žádný vliv.

### 6.1 Změny v konstrukci přípravku

#### 6.1.1 Základová deska

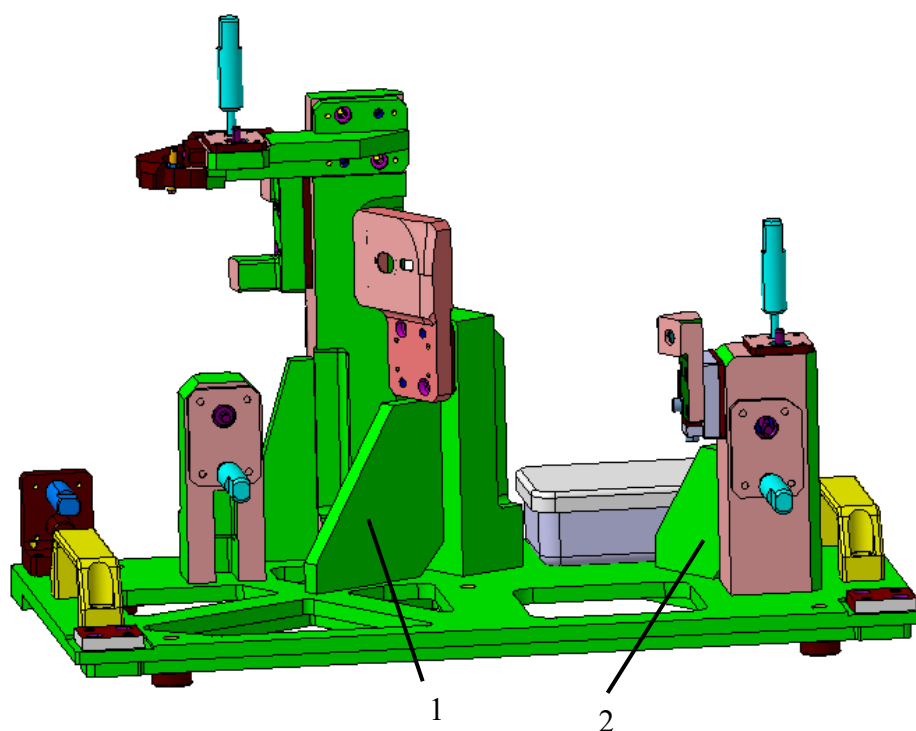
Bylo provedeno několik změn oproti první upravené desce (Obr. 5.2). Upravil jsem otvory pro odlehčení (poz. 1) a zároveň desku na několika místech (poz. 2) vyztužil a na okrajích odlehčil (poz. 3). Na Obr. 6.1 jsou znázorněny pozice změn.



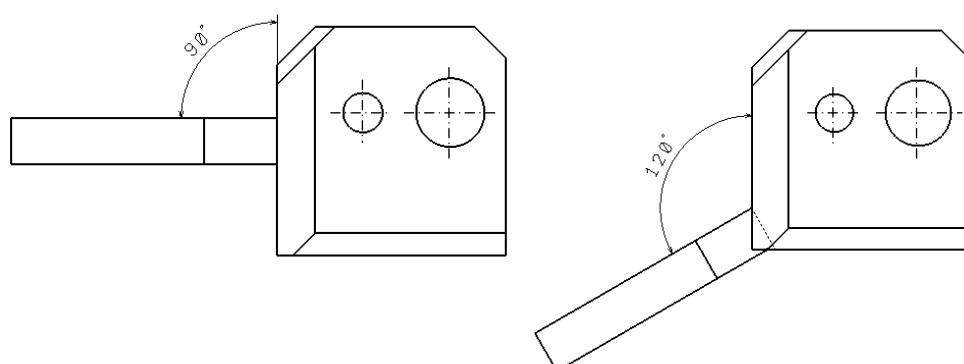
Obr. 6.1 - Základová deska po úpravách

#### 6.1.2 Žebra

Po přidání nových žebër (Obr. 5.3) jsem provedl několik změn. Zmĕnil jsem velikost i tvar žebra podpírající středový sloupek (poz. 1) a natočil druhé přidané žebro (poz. 2) do směru působení síly (Obr. 6.3).



Obr. 6.2 - Změny na žebrech



Obr. 6.3 - Změna pozice žebra (přodorys)

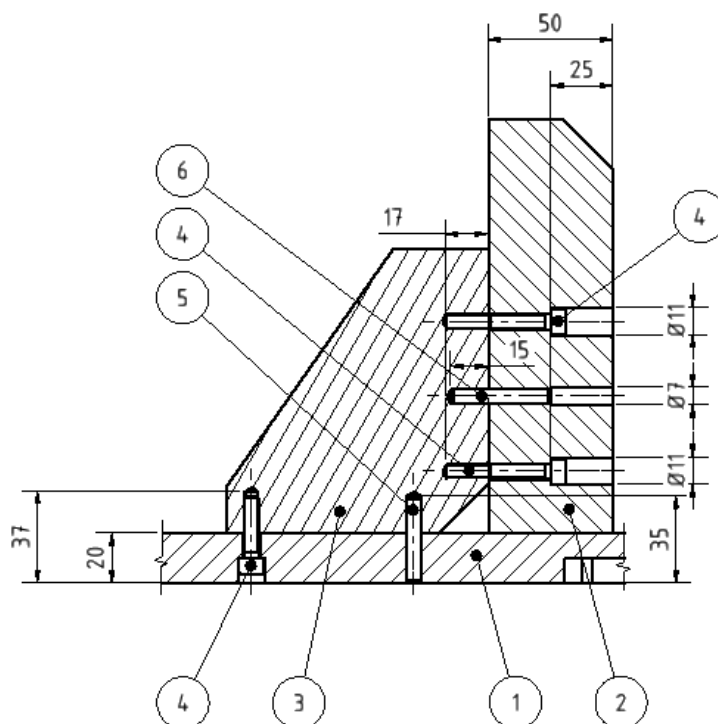
Pro nová žebra volím stejné uchycení, jako bylo v původním přípravku. Na Obr. 6.4 lze vidět řez uchycení žebra ke sloupku a základové desce (poz. 1, Obr. 6.2).

1 ... Základová deska    2 ... Sloupek 3    3 ... Žebro 1

4 ... ŠROUB M6 x 25 ISO 4762 - 12.9 [2]

5 ... KOLÍK 6 x 35 B ISO 2338 - St [2]

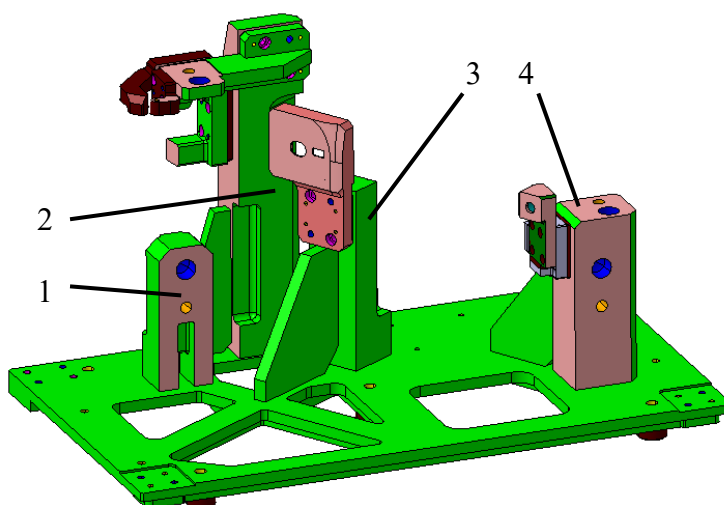
6 ... KOLÍK 6 x 40 B ISO 2338 - St [2]



Obr. 6.4 - Řez uchycení žebra

### 6.1.3 Sloupky

Materiál jsem ze sloupků ubral tak, aby se příliš nesnížila tuhost a nezasáhl do děr pro šrouby a zároveň abych snížil hmotnost sloupků. Na Obr. 6.5 jsou znázorněny pozice sloupků tak, jak jsem si je očísloval. Při úpravě konstrukce sloupků jsem byl omezen značným množstvím děr pro šrouby a kolíky. Z důvodu nutnosti zachování polohy lokátorů a uchycovací části jsem nemohl příliš měnit celkový tvar, pouze jsem byl schopen ubírat materiál.



Obr. 6.5 - Pozice sloupků

1 ... Sloupek 1

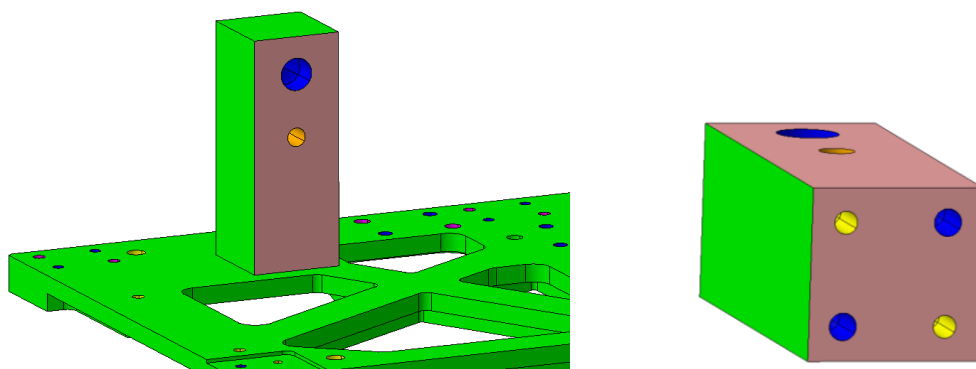
2 ... Sloupek 2

3 ... Sloupek 3

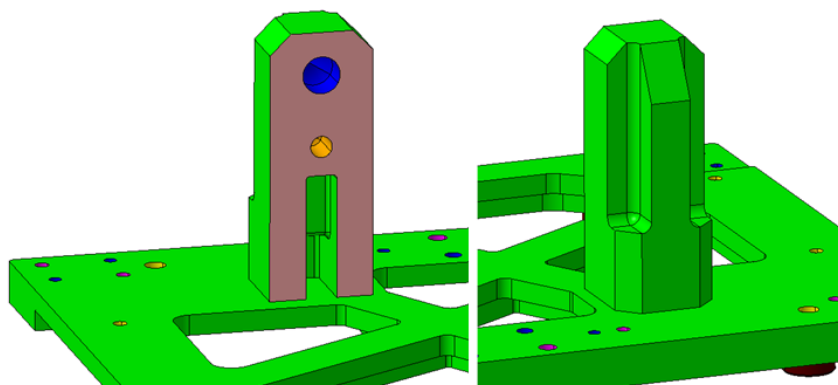
4 ... Sloupek 4

### Sloupek 1

U tohoto sloupku jsem na přední straně odebral materiál ve středu u základny (Obr. 6.7). Na zadní straně jsem materiál odebral po stranách a také sražením hran. U všech sloupků je obdobné rozmístění šroubů ze spodní strany (Obr. 6.6).



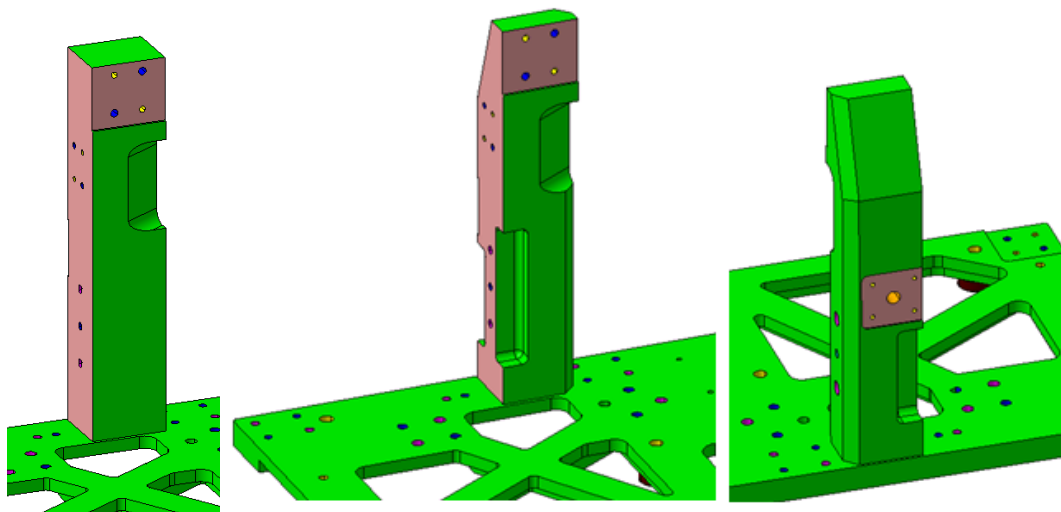
Obr. 6.6 - Původní neupravený sloupek 1



Obr. 6.7 - Upravený sloupek 1

## Sloupek 2

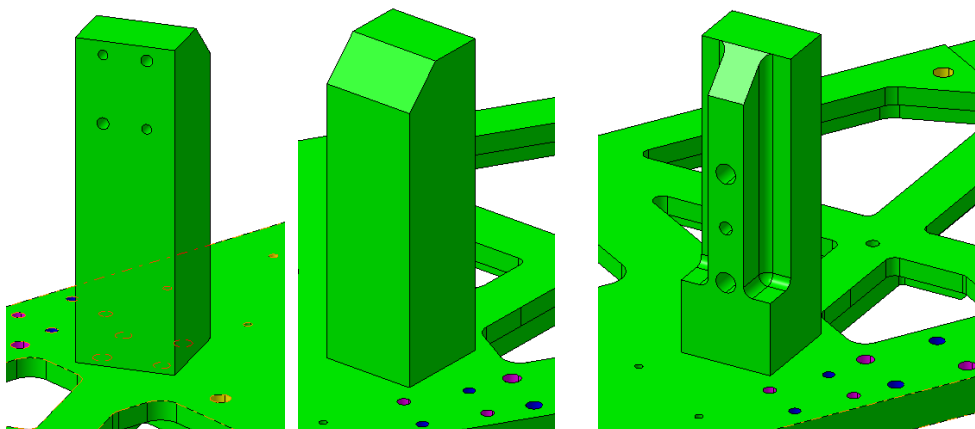
Zde (Obr. 6.8) byl problém ve velké výšce sloupku a se spoustou děr na šrouby po celé jeho délce. Materiál jsem ubral na okrajích. Na sloupku jsem také srazil hrany. Velký kus materiálu jsem odebral také značným sražením hrany na horní ploše sloupku.



Obr. 6.8 - Původní sloupek 2 (vlevo) a Upravený sloupek 2 (vpravo)

## Sloupek 3

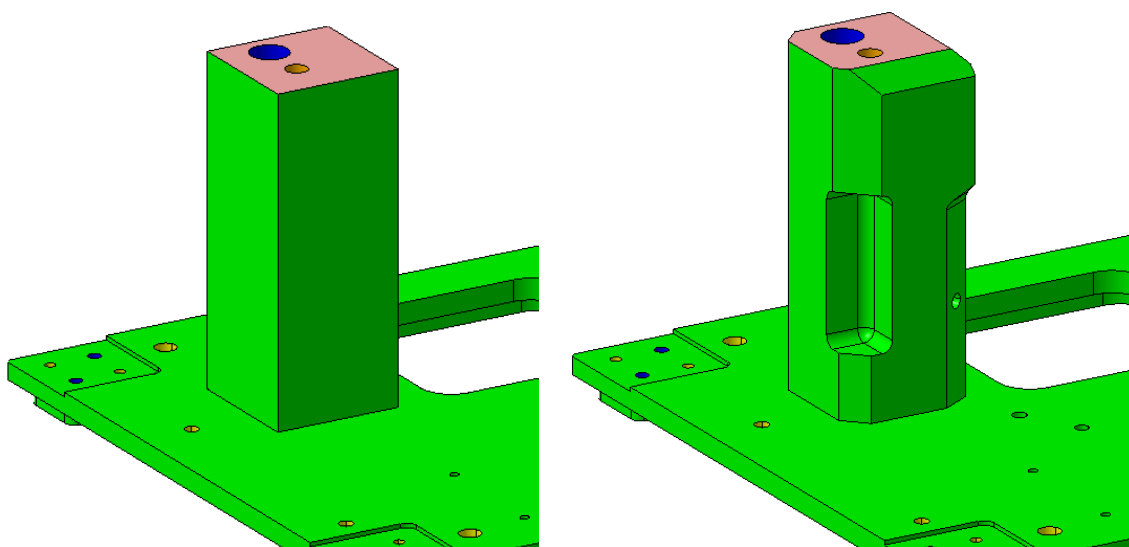
V tomto případě (Obr. 6.9) jsem upravil pouze zadní část sloupku odebráním materiálu po stranách, abych nesnížil příliš tuhost. Jde o sloupek, na kterém se nachází uchycovací část, na níž je kritické místo deformace. Zepředu jsem byl také limitován přidáním žebrem.



Obr. 6.9 - Původní sloupek 3 (vlevo) a upravený sloupek 3 (vpravo)

## Sloupek 4

Tento sloupek je (Obr. 6.10) nosičem lokátoru, na kterém je další místo kritické deformace. Takže jsem si nemohl dovolit příliš snížit jeho tuhost. Této podmínce jsem podřídil konečné úpravy sloupku. Na jedné straně jsem ubral materiál tak, aby se zde mohlo napojit žebro ve směru působení reakce  $C$ . Provedl jsem zde také sražení hran.



Obr. 6.10- Původní sloupek 4 (vlevo) a upravený sloupek 4 (vpravo)

## 6.2 Deformační analýza

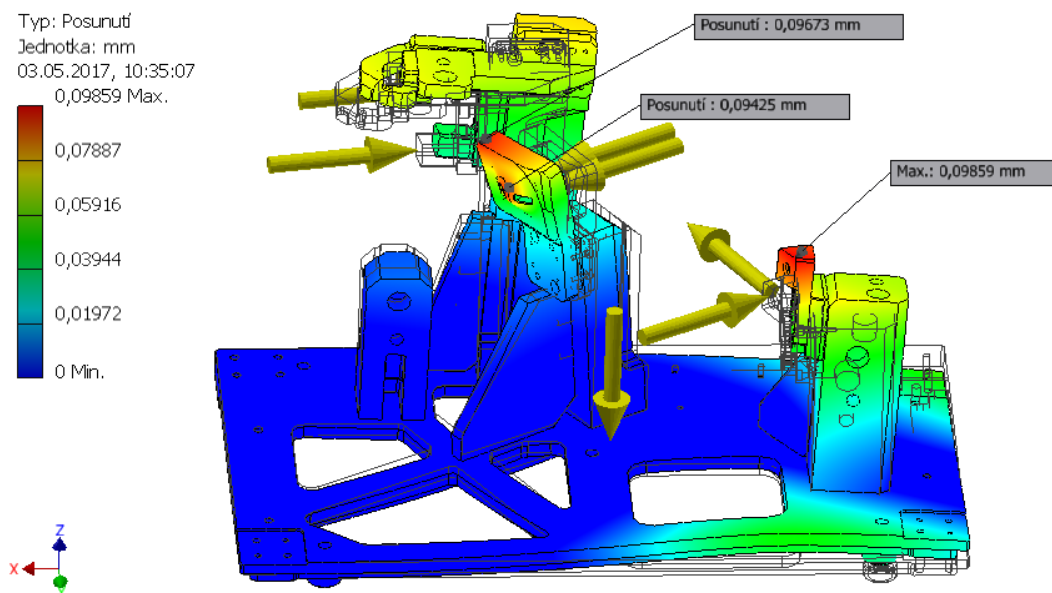
Během provádění úprav jsem vše kontroloval nastavenou simulací (viz kapitola 5.2). Všechny okrajové podmínky, vazby, materiál apod. zůstávají stejné.

### 6.2.1 Výsledná deformace přípravku

Na Obr. 6.11 můžeme vidět znázornění velikosti a směru deformace. Maximální hodnota deformace nepřesahuje 0,1 mm

$$0,09859 > 0,1 \longrightarrow \text{PODMÍNKA SPLNĚNA}$$

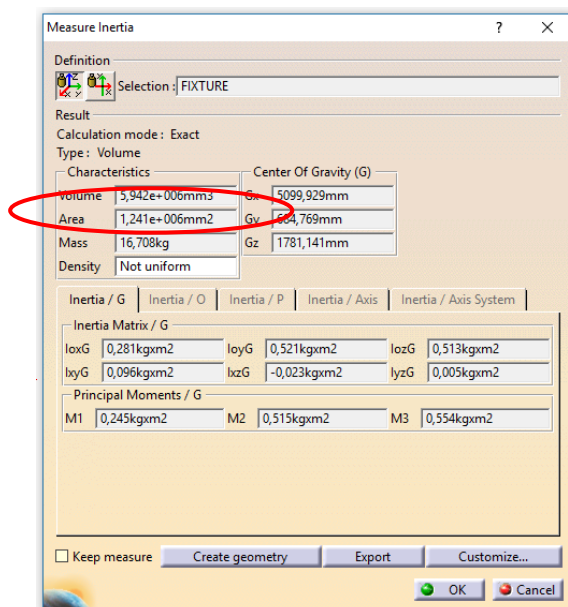




Obr. 6.11 - Deformační analýza

### 6.3 Změna v hmotnosti

Mým cílem bylo také snížení hmotnosti z 18,2 kg na 15 kg. Hmotnost jsem snížil na  $m = 16,7$  kg, čímž jsem se částečně přiblížil požadavku  $m_{MAX} = 15$  kg. Avšak díky tomu, že byl splněn požadavek na deformaci, je přípravek použitelný na měření SC bodů. Hmotnost byla určena pomocí software Catia [1].



Obr. 6.12 - Výsledná hmotnost přípravku

## 7 Porovnání řešení

V Tab. 3 porovnávám kritéria tří řešení přípravků. První řešení je původní, druhé řešení je přípravek modifikovaný konstruktéry ve Varrocu a třetí řešení je mnou navržený přípravek. Budu zde porovnávat deformaci a hmotnost. Kritéria jsem ohodnotil body v rozmezí 1 ÷ 6 pro deformaci (6 je nejlepší) a v rozmezí 1 ÷ 3 pro hmotnost (3 je nejlepší), protože vyhovující deformace je pro SC přípravek mnohem důležitější, než hmotnost.

Tab. 3 - Porovnání kritérií verzí přípravku

	Původní verze		Verze upravená ve Varrocu		Mnou navržená verze	
	Hodnota	Body	Hodnota	Body	Hodnota	Body
<b>Deformace</b>	0,3 mm	3	0,09 mm	6	0,0986 mm	6
<b>Hmotnost</b>	18,2 kg	1	21 kg	0,5	16,7 kg	2
<b>Body celkem</b>	<b>4</b>		<b>6,5</b>		<b>8</b>	

Jak je z Tab. 3 patrné, nejvíce bodů získala mnou navržená verze. Požadavkem bylo snížení hmotnosti na 83,4 % (100% je 18,2 kg). U verze upravené ve Varrocu došlo ke zvýšení hmotnosti na 115,4 % z původní hmotnosti. Mými úpravami se podařilo snížit hmotnost na 91,8 %.

## 8 Závěr

Na úvod této práce jsem popsal problémy a cíle mé práce. Zadání práce jsem obdržel od firmy Varroc. Dále jsem provedl stručnou rešerši v oblasti typů přípravků v automobilové světelné technice.

Navrhl jsem řešení úpravy konstrukce SC přípravku tak, aby byla splněna podmínka maximální deformace po upnutí svítidly do přípravku. Veškeré změny na konstrukci byly průběžně kontrolovány MKP analýzou. Okrajové podmínky v MKP analýze jsem konzultoval s výpočtářem z Varrocu. Bohužel se mi však nepodařilo dostatečně snížit hmotnost přípravku na požadovaných 15 kg. Hmotnost jsem pouze částečně snížil na 16,7 kg. Podmínka maximální deformace je z hlediska měření mnohem důležitější, takže jsem se zaměřil více na vyřešení problému deformace, když se mi nedařilo vyřešit oba problémy najednou. Díky splnění podmínky deformace je přípravek použitelný pro měření SC bodů. V této práci je také popsána jedna z průběžných variant, kdy jsem se snažil snížit hmotnost i deformaci SC přípravku. U této varianty došlo ke snížení hmotnosti na 18 kg a snížení maximální deformace na 0,1794 mm. Během úprav jsem byl značně omezen nutností dodržet přesnou polohu lokátorů a také množstvím děr pro šrouby a kolíky v celé konstrukci.

Po porovnání tří variant přípravku, z nichž jedna je původní, jedna upravená ve Varrocu a třetí je mé konečné řešení, nejlepších výsledků dosahuje má varianta. Má varianta nedosahuje na požadavek max. 15 kg, avšak oproti původní verzi jsem hmotnost snížil o 8,2 % na 16,7 kg. Kompletně jsem však vyřešil problém s deformací. Druhá varianta má vyřešený problém s deformací přípravku, avšak hmotnost se oproti původní variantě ještě zvýšila. Původní varianta nesplňuje požadavek na deformaci ani na hmotnost.

Po konzultaci s konstruktérem z Varrocu bylo dohodnuto, že navzdory částečnému splnění požadavku na hmotnost přípravku, je toto řešení přijatelné. Výsledky práce mohou být využity při opětovném návrhu SC přípravku s vlastnostmi, které budou vyhovovat z hlediska požadované hmotnosti a zároveň deformace.

## Seznam použité literatury a softwarů

- [1] *Software: Dassault Systemes Catia V5R20*
- [2] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [3] *Software: NX Nastran 9.1*
- [4] *Software: Autodesk Inventor Professional 2014*

# Seznam obrázků a tabulek

## Obrázky:

Obr. 1.1- Přípravek na měření SC bodů v 3D softwaru Catia [1]	12
Obr. 1.2 - Pohled zepředu	13
Obr. 1.3 - Pohled zleva	13
Obr. 2.1 - Montážní přípravek na světlo	15
Obr. 2.2 - SC přípravek	16
Obr. 2.3 - Fotometrický přípravek	16
Obr. 2.4 - Přípravek pro nárazové zkoušky	17
Obr. 3.1 - Pozice pro uchycení lokátorů	20
Obr. 3.2 - Uchycení šroubu a klipu	20
Obr. 3.3 - Blokové schéma postupu měření	21
Obr. 3.4 - Pružinový šroub a matice Böllhoff	21
Obr. 4.1 - Určení hmotnosti původního přípravku	22
Obr. 4.2 - MKP analýza posunutí	23
Obr. 4.3 - MKP analýza posunutí desky	23
Obr. 4.4 - MKP analýza posunutí po úpravě	24
Obr. 4.5 - MKP analýza posunutí desky po úpravě	25
Obr. 5.1 - Původní základová deska	26
Obr. 5.2 - Upravená základová deska	27
Obr. 5.3 - Pozice nových žeber	27
Obr. 5.4 - Umístění pevných vazeb	28
Obr. 5.5 - Zjednodušený model pro simulaci	29
Obr. 5.6 - Příklad umístění distančních destiček	29

Obr. 5.7 - Pozice levých lokátorů	30
Obr. 5.8 - Pozice pravého lokátoru	30
Obr. 5.9 - Nosník pro výpočet reakcí	31
Obr. 5.10 - Zatížení na přípravek	33
Obr. 5.11 - Deformační analýza	34
Obr. 5.12 Průběžné změny v konstrukci	34
Obr. 6.1 - Základová deska po úpravách	35
Obr. 6.2 - Změny na žebrech	36
Obr. 6.3 - Změna pozice žebra (půdorys)	36
Obr. 6.4 - Řez uchycení žebra	37
Obr. 6.5 - Pozice sloupků	37
Obr. 6.6 - Původní neupravený sloupek 1	38
Obr. 6.7 - Upravený sloupek 1	38
Obr. 6.8 - Původní sloupek 2 (vlevo) a Upravený sloupek 2 (vpravo)	39
Obr. 6.9 - Původní sloupek 3 (vlevo) a upravený sloupek 3 (vpravo)	39
Obr. 6.10- Původní sloupek 4 (vlevo) a upravený sloupek 4 (vpravo)	40
Obr. 6.11 - Deformační analýza	41
Obr. 6.12 - Výsledná hmotnost přípravku	41

#### **Tabulky:**

Tab. 1 - Vlastnosti materiálů	18
Tab. 2 - Požadavkový list	19
Tab. 3 - Porovnání kritérií verzí přípravku	42

# Seznam příloh

## Výkresová dokumentace

Příloha A	SC PŘÍPRAVEK	výkres sestavy
Příloha B	SLOUPEK 1	výrobní výkres

## Poděkování:

Rád bych poděkoval firmě Varroc Lighting Systemes s.r.o. za poskytnutí úlohy z praxe. Jmenovitě bych rád poděkoval Ing. Martinu Zigmundovi za ochotu a užitečné rady při nastavování MKP analýzy. Dále děkuji vedoucí mé bakalářské práce Dr. Ing. Anně Plchové za odborné vedení, ochotu a trpělivost během konzultací. Vážím si také podpory mé rodiny a blízkých během celého mého studia.